

⑬ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Off nlegungsschrift  
⑪ DE 3830836 A1

⑳ Aktenzeichen: P 38 30 836.3  
㉑ Anmeldetag: 10. 9. 88  
㉒ Offenlegungstag: 22. 3. 90

⑤ Int. Cl. 5:  
B64C 13/46  
B 64 C 25/44  
B 64 G 1/24  
// B62D 5/00,  
B60T 8/32,  
B60K 28/16

DE 3830836 A1

㉓ Anmelder:

Messerschmitt-Bölkow-Blohm GmbH; 8012  
Ottobrunn, DE

㉔ Erfinder:

Harzer, Peter, Dipl.-Ing., 8025 Unterhaching, DE;  
Wagner, Siegfried, 8012 Ottobrunn, DE

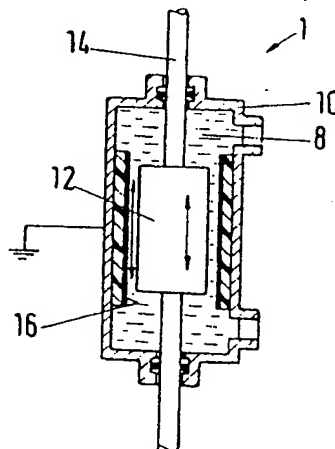
Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤ Kraftsimulation in Servosteuersystemen

Vorrichtung zur Kraftsimulation in Servosteuersystemen von bemannten Fahrzeugen aller Art, insbesondere von Luftfahrzeugen, mit mindestens einem manuellen Steuerorgan und einem auf das Steuerorgan einwirkenden Kraftsimulator.

Der Kraftsimulator umschließt einen zusammenhängenden, mit einer elektrorheologischen Flüssigkeit gefüllten Hohlraum, in welchem mindestens ein bewegliches Element zum Erzeugen einer Strömungsbewegung angeordnet ist, welches kinematisch mit dem Steuervorgang gekoppelt ist. Im Strömungsbereich des Hohlraumes sind mindestens zwei flächige, eng benachbarte, gegeneinander isolierte Elektroden vorhanden. Dem Kraftsimulator ist eine Steuereinheit zugeordnet, welche die Elektrodenspannung in Abhängigkeit vom momentanen Bewegungs- bzw. Belastungszustand des Fahrzeuges regelt.

Fig.1



DE 3830836 A1

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Kraftsimulation in hand- oder fußbetätigten Servosteuersystemen von bemannten Fahrzeugen aller Art, insbesondere von Luftfahrzeugen, gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruches 1.

In bemannten Land-, Wasser-, Luft- und Raumfahrzeugen werden Servosteuersysteme in der Regel dann verwendet, wenn die menschliche Muskelkraft zu schwach ist, oder zu viel Zeit benötigt, um das jeweilige Fahrzeug in der gewünschten Weise zu bedienen. Die Erfordernis der Servounterstützung wächst primär mit der Größe, Masse, Geschwindigkeit und Reaktionsfähigkeit des Fahrzeuges.

Die Verstärkung der Muskelkraft erfolgt meist mit hydraulischer, pneumatischer oder elektromechanischer Energie. Die manuell zu bedienenden Steuerorgane solcher Servosysteme, wie z.B. Ventile oder Schalter, weisen in der Regel nur sehr kleine, vom Belastungszustand weitgehend unabhängige Schaltkräfte auf. Ohne das Hilfsmittel der Kraftsimulation führt dies dazu, daß der Bediener das Gefühl für den Geschwindigkeits- und Belastungszustand des Fahrzeuges verliert, woraus sich falsche, insbesondere übertriebene starke Bedienungsreaktionen mit unter Umständen katastrophalen Folgen für Mensch und Maschine ergeben können. Angesichts dieser Gefahren bedient man sich in wichtigen Fällen der Kraftsimulation. Darunter ist zu verstehen, daß der manuellen Bedienungsbeziehung mit zunehmender Belastung des Fahrzeuges, insbesondere mit zunehmender Geschwindigkeit, eine künstliche, ebenfalls zunehmende Widerstandskraft entgegengesetzt wird. Ein gutes Beispiel hierfür sind geschwindigkeitsabhängige Servolenkungen von PKW's.

In Kampfflugzeugen, wie z.B. dem Tornado, werden praktisch alle aerodynamischen Steuerflächen mit Servosteuersystemen bewegt. Dabei sind Kraftsimulatoren für die Steuerbewegungen um alle drei Achsen vorgesehen.

Für die Steuerung um die Gier- und die Rollachse bedient man sich mechanischer Federn, welche mit zunehmendem Ausschlag des Bedienungsorganes diesem einen zunehmenden Widerstand entgegensetzen. Insbesondere bei kleinen Steuerausschlägen und großen Fluggeschwindigkeiten ist diese Art der Kraftsimulation problematisch, weil der Widerstandseffekt ggf. nicht ausreichend stark und direkt ist.

Für die Steuerung um die Nickachse, welche den größten Einfluß auf die Belastung des Flugzeuges hat, wird eine aufwendigere und wirkungsvollere, hydraulisch/mechanische Kraftsimulation verwendet. Dabei wirkt der im Hydrauliksystem herrschende Druck über eine Kolbenfläche als Kraft der Steuerbewegung des Piloten entgegen. Geregelt wird das System durch statische und dynamische Luftdrücke, welche über Membranen die Stellung des Regelventils beeinflussen. Die dadurch erzeugte Kraft ist demnach abhängig von der Öffnung (Stellung zur Nullage) des Regelventils. Diese Art der Kraftsimulation ist zwar in ihrer Wirkungsweise zufriedenstellend, jedoch infolge der Anzahl und Art der erforderlichen Bauteile konstruktiv sehr aufwendig, störungsanfällig, voluminös und schwer.

Demgegenüber besteht die Aufgabe der Erfindung darin, eine Vorrichtung zur Kraftsimulation bereitzustellen, welche bei weiter verbesserter Funktionsweise einfacher im Aufbau und in der Herstellung, zuverlässiger, platzsparender und leichter ist.

Diese Aufgabe wird durch die im Patentanspruch 1 gekennzeichneten Merkmale gelöst.

Die Erfindung macht sich die charakteristische Eigenschaft elektrorheologischer Flüssigkeiten zunutze, daß deren Aggregatzustand durch das Anlegen einer variablen elektrischen Spannung stufenlos und reversibel zwischen "flüssig" und "fest" einstellbar ist. Somit sind erzwungene Strömungsbewegungen, z.B. in einer Kolben-/Zylinder-Anordnung, mit einem umso größeren Kraftaufwand verbunden, je höher die anliegende Elektrodenspannung ist. Diese wird von einer Steuereinheit in Abhängigkeit vom momentanen Bewegungs- bzw. Belastungszustand des Fahrzeuges geregelt.

Als Parameter können hier beispielsweise die Geschwindigkeit, Beschleunigungswerte, Druckwerte etc. berücksichtigt werden.

Die Unteransprüche 2 bis 5 enthalten bevorzugte Ausgestaltungen der Vorrichtung nach Anspruch 1.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand der Zeichnung noch näher erläutert. Dabei zeigen in vereinfachter bzw. schematischer Darstellung:

Fig. 1 einen Längsschnitt durch einen Kraftsimulator, bei welchem der Kolben und die ihn umgebende Buchse die Elektroden bilden,

Fig. 2 einen Längsschnitt durch einen Kraftsimulator mit Differentialkolben, Bypassleitung und Ventilkammer,

Fig. 3 die wesentlichen Elemente der Vorrichtung zur Kraftsimulation.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Kraftsimulation eignet sich für eine Vielzahl von Anwendungsfällen in bemannten Fahrzeugen aller Art. Unter dem Begriff "Servosteuersysteme" sind dabei nicht nur Systeme zu verstehen, welche der Richtungsänderung (Lenkung, Steuerung) dienen, sondern auch solche Systeme, welche positive oder negative Beschleunigungen in jeglicher Richtung auf das Fahrzeug ausüben. Somit sind außer Servolenkungen im weitesten Sinn auch Servobremss- und Servogassysteme angesprochen. Die Erfindung kann beispielsweise in Antischleuder-, Antiblockier- und Antischlupfsysteme integriert werden, was die Anwendung bei Landfahrzeugen anbelangt.

Mit dem Begriff "Fahrzeuge aller Art" sind spurgebundene und nicht-spurgebundene Landfahrzeuge, wie z.B. Eisenbahnzüge, PKW's, LKW's und Omnibusse, Wasserfahrzeuge, wie z.B. Tragflügelboote, Luftfahrzeuge, wie z.B. Flugzeuge und Hubschrauber, und Raumfahrzeuge, wie z.B. bemannte Raumfähren, angesprochen.

Das Hauptelement der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist der elektrorheologische Kraftsimulator. In diesem wird die wichtigste Eigenschaft einer elektrorheologischen Flüssigkeit ausgenutzt, nämlich daß ihr Aggregatzustand bei Anlegen einer elektrischen Spannung von flüssig in fest übergeht. Der Übergang erfolgt nicht schlagartig, die Viskosität nimmt in einem bestimmten Feldstärkebereich linear mit der anliegenden elektrischen Feldstärke (Einheit: kV/mm) zu. Bei vorgegebenem Elektrodenabstand besteht also ein linearer Zusammenhang zwischen der Viskosität und der anliegenden Spannung. Elektrorheologische Flüssigkeiten bestehen aus einem Gemisch von mikroskopisch kleinen, porösen, polymeren Kunststoffteilchen, eingehüllt in eine Lösung aus synthetischem Öl und einer exakt dosierten Menge von Wasser. Sie haben eine dynamische Zähigkeit von etwa 50 cP bei 20°C, das Anspracheverhalten beträgt ca. 1 ms. Das Phänomen der Viskositätssteigerung läßt sich mit Spannungen zwischen 1,8 kV

und 4 kV und Stromstärken zwischen 5 mA und 10 mA steuern, wobei maximale Scherspannungen von 7 kPa bis 10 kPa erreicht werden. Im Hinblick auf niedrige elektrische Feldstärken (Energiebedarf) und ausreichende Kurzschlußsicherheit haben sich Elektrodenabstände von 0,5 bis 1 mm bewährt. Beachtlich ist die extreme Abhängigkeit des elektrischen Leistungsbedarfs von der Flüssigkeitstemperatur. Im Temperaturbereich von ca. 20°C bis ca. 80°C führt jede Temperaturerhöhung um 6 Grad zu einer Verdoppelung des Leistungsbedarfs. Das heißt, eine Temperaturerhöhung von 20°C auf 80°C erhöht den Leistungsbedarf um mehr als das Tausendfache. Deshalb wird es sehr wichtig sein, eine Vorrichtung zur Konstanzhaltung der Temperatur auf einem niedrigen Niveau vorzusehen. Nur auf diese Weise ist eine zuverlässige Kraftregelung ohne größere Schwankungen möglich.

Der Kraftsimulator 1 nach Fig. 1 besteht aus einer mit elektrorheologischer Flüssigkeit B gefüllten Kolben-/Zylinder-Einheit. Die Kolbenstange 14 ist in beiden Stirnwänden des Zylinders 10 axialverschieblich gelagert und abgedichtet. Der Kolben 12 ist mit radialem Spiel von ca. 0,5 bis 1 mm in der mit dem Zylinder 10 verbundenen Buchse 16 angeordnet. Bei Axialbewegungen des Kolbens 12 entsteht eine Zwangsströmung zwischen dem Kolbenhemd und der Buchse 16, was durch einen Doppelpfeil angedeutet ist. Die Buchse 16 ist als Elektrode ausgeführt und gegenüber dem Zylinder 10 elektrisch isoliert. Die korrespondierende Elektrode ist der Kolben 12 samt Kolbenstange 14 und Zylinder 10. Bei Führung der Kolbenstange in isolierenden Buchsen könnte der Zylinder als erste Elektrode, der Kolben als zweite Elektrode arbeiten. Es besteht auch die Möglichkeit, den Kolben mit einem isolierten, als Elektrode ausgeführten Kolbenhemd zu versehen. Wichtig ist nur, daß sich beiderseits des Strömungspfadcs flächige, gegeneinander isolierte Elektroden in kleinem Abstand gegenüberstehen.

Die Ausführung nach Fig. 2 unterscheidet sich von derjenigen nach Fig. 1 in mehrfacher Hinsicht. Der Kolben 13 ist als Differentialkolben mit einseitiger Kolbenstange 15 ausgeführt. Dadurch lassen sich unterschiedliche Kolbenstangenkräfte bei Zug oder Druck realisieren. Der Nachteil dabei ist, daß das ein- und ausfahrende Kolbenstangenvolumen kompensiert werden muß. In Fig. 2 ist ein gasgefülltes Ausgleichsvolumen 20 gezeigt, welches durch den verschiebbaren, abgedichteten Ausgleichskolben 21 von der elektrorheologischen Flüssigkeit 9 getrennt ist. Eine vergleichbare Kompensationsanordnung ist von Gasdruckstoßdämpfern her bekannt. Anstelle des Ausgleichskolbens 21 könnte auch eine dichte Membran eingebaut sein. Der Kolben 13 ist axialverschieblich und weitgehend dichtend in den Zylinder 11 eingepaßt. Auf diese Weise wird die elektrorheologische Flüssigkeit 9 gezwungen, bei Kolbenbewegungen durch die Bypassleitung 18 und die Ventilkammer 19 zu strömen. Die gezielte Viskositätsänderung vollzieht sich in der Ventilkammer 19, wobei der Stromfluß zwischen dem Gehäuse und der Elektrode 17 erfolgt. Zur Flächenvergrößerung können mehrere, paarweise zusammenwirkende Elektroden parallel zueinander angeordnet sein.

Die Anordnung nach Fig. 3 ist beispielhaft für eine Anwendung in einem Kampfflugzeug, vorzugsweise für die Nickkraftsimulation. Mit dem Steuerknüppel 5 bewegt der Pilot — servounterstützt — eine oder mehrere, aerodynamisch wirksame Steuerflächen (z.B. Höhenruder), welche Drehbewegungen des Flugzeuges um seine

Querachse zur Folge haben (progressives Steigen, Fallen, Looping etc.). Der Steuerknüppel 5 ist zum einen mit dem Servosteuersystem (nicht dargestellt), zum anderen mit der Vorrichtung zur Nickkraftsimulation gekoppelt. Diese umfaßt als mechanische bzw. elektromechanische Komponenten den Not-Kraftsimulator 4 und den elektrorheologischen Kraftsimulator 3. Der Not-Kraftsimulator 4 sorgt für einen gewissen Mindeststeuerwiderstand bei Ausfall des elektrorheologischen Systems und arbeitet beispielsweise rein mechanisch mit Federkraft oder Reibung. Die Widerstandskraft des Kraftsimulators 3 wird in Abhängigkeit von verschiedenen Parametern geregelt. Solche sind beispielsweise der Staudruck (Fluggeschwindigkeit bzw. Anströmgeschwindigkeit), der statische Druck (Flughöhe), bei Flugzeugen mit Schwenkflügeln die Flügelstellung etc. Es besteht auch die Möglichkeit, in kritischen Bauteilen die Materialspannungen zu messen (z.B. mit Dehnmeßstreifen) und bei der Kraftsimulation zu berücksichtigen.

Die erfaßten strömungsmechanischen Druckwerte werden im Druckwandler 7 in elektrische Signale umgeformt, welche — ggf. mit weiteren Parameterwerten — dem Rechner 6 zugeführt werden. Im vorliegenden Beispiel ist die Übermittlung zweier Staudrucksignale (gestrichelte Pfeile) und zweier Statikdrucksignale (strichpunktierte Pfeile) dargestellt. Der Rechner 6 ist an zwei 28-V-Gleichstromkreise des Bordnetzes angeschlossen (Redundanz) und kann auch die Stromversorgung des Druckwandlers 7 übernehmen. Aus den eingegebenen Parameterwerten ermittelt das Rechnerprogramm die passende, zu simulierende Nickkraft und gibt diese in Form der entsprechenden Elektrodenspannung an den elektrorheologischen Kraftsimulator 3 weiter. Im Hinblick auf die Ausfallsicherheit ist es günstig, zu allen Schalt- und Stromkreisen jeweils einen redundanten Kreis vorzusehen, wobei nach einem totalen Ausfall dieses Systems immer noch der Not-Kraftsimulator 4 wirksam ist.

#### Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Kraftsimulation in hand- oder fußbetätigten Servosteuersystemen von bemannten Fahrzeugen aller Art, insbesondere von Luftfahrzeugen, welche der Muskelkraft einen vom momentanen Bewegungs- bzw. Belastungszustand des Fahrzeugs abhängigen Widerstand entgegensetzt, mit mindestens einem manuellen Steuerorgan und mit mindestens einem auf das Steuerorgan einwirkenden Kraftsimulator, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Kraftsimulator (1, 2, 3) einen abgedichteten, zusammenhängenden Hohlraum umschließt, daß der Hohlraum mit einer elektrorheologischen Flüssigkeit (8, 9) gefüllt ist, daß in dem Hohlraum mindestens ein bewegliches Element (Kolben 12, 13) zum Erzeugen einer Strömungsbewegung angeordnet ist, daß das bewegliche Element (Kolben 12, 13) kinematisch mit dem Steuerorgan (Steuerknüppel 5) gekoppelt ist, daß im Strömungsbereich des Hohlraumes mindestens zwei flächige, in geringem Abstand angeordnete, gegeneinander isolierte Elektroden (17, Buchse 16) vorhanden sind, und daß dem Kraftsimulator (1, 2, 3) eine Steuereinheit (Rechner 6) zugeordnet ist, welche die an den Elektroden (17, Buchse 16) anliegende Spannung in Abhängigkeit vom momentanen Bewegungs- bzw. Belastungszustand des Fahrzeuges regelt.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Kraftsimulator (1) im wesentlichen aus einem abgedichteten, mit elektrorheologischer Flüssigkeit (8) gefüllten Zylinder (10) besteht, in welchem ein Kolben (12) axial verschiebbar gelagert ist, daß der Kolben (12) zur Erzeugung eines kreisringförmigen Strömungsquerschnittes mit radialem Abstand im Zylinder (10) läuft, daß der Zylinder (10) oder eine fest mit ihm verbundene Buchse (16) die eine Elektrode, der Kolben (12) oder eine mit ihm verbundene Buchse die zweite Elektrode bildet (Fig. 1).

3. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Kraftsimulator (2) im wesentlichen aus einem mit elektrorheologischer Flüssigkeit (9) gefüllten Zylinder (11) besteht, in welchen ein axial verschiebbarer Kolben (13) dichtend eingepaßt ist, daß die beiden durch den Kolben (13) getrennten Kammern über eine Bypassleitung (18) volumetrisch verbunden sind, und daß die Bypassleitung (18) durch eine Ventilkammer (19) führt, in welcher mindestens zwei Elektroden (17, Ventilkammer 19) angeordnet sind (Fig. 2).

4. Vorrichtung nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Kolbenstange (14) entweder beiderseits des Kolbens (12) im Zylinder (10) gelagert ist, oder daß die Kolbenstange (15) nur von einer Seite zum Kolben (13) führt (Differentialkolben), wobei im Falle der einseitigen Kolbenlagerung ein kompressibles Ausgleichsvolumen (20) zur Kompensation des ein- bzw. ausfahrenden Kolbenstangenvolumens an die Flüssigkeitsfüllung angrenzt.

5. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der mittlere Elektrodenabstand ca. 0,5 bis 1 mm beträgt, und daß eine Vorrichtung zur Kühlung der elektrorheologischen Flüssigkeit (8, 9) vorhanden ist, z.B. in Form eines Wärmetauschers.

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---

Fig.1

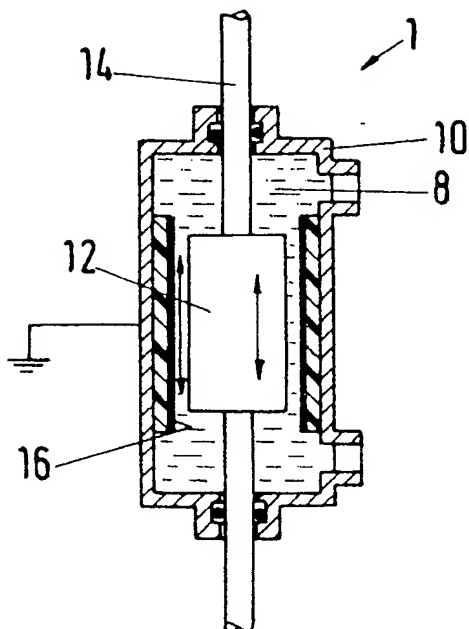


Fig.2

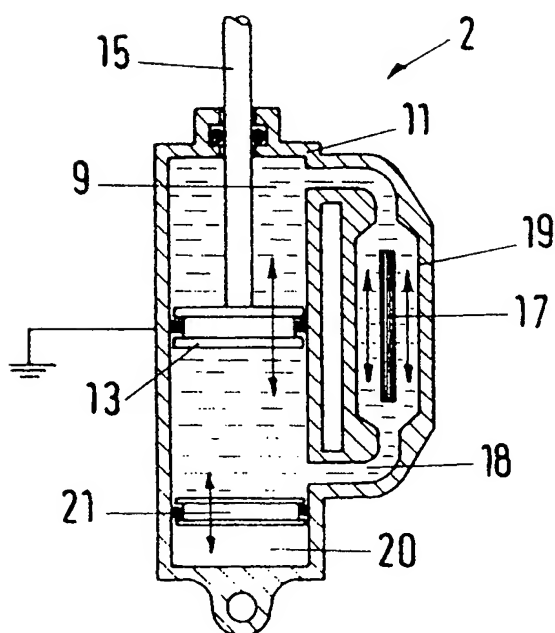
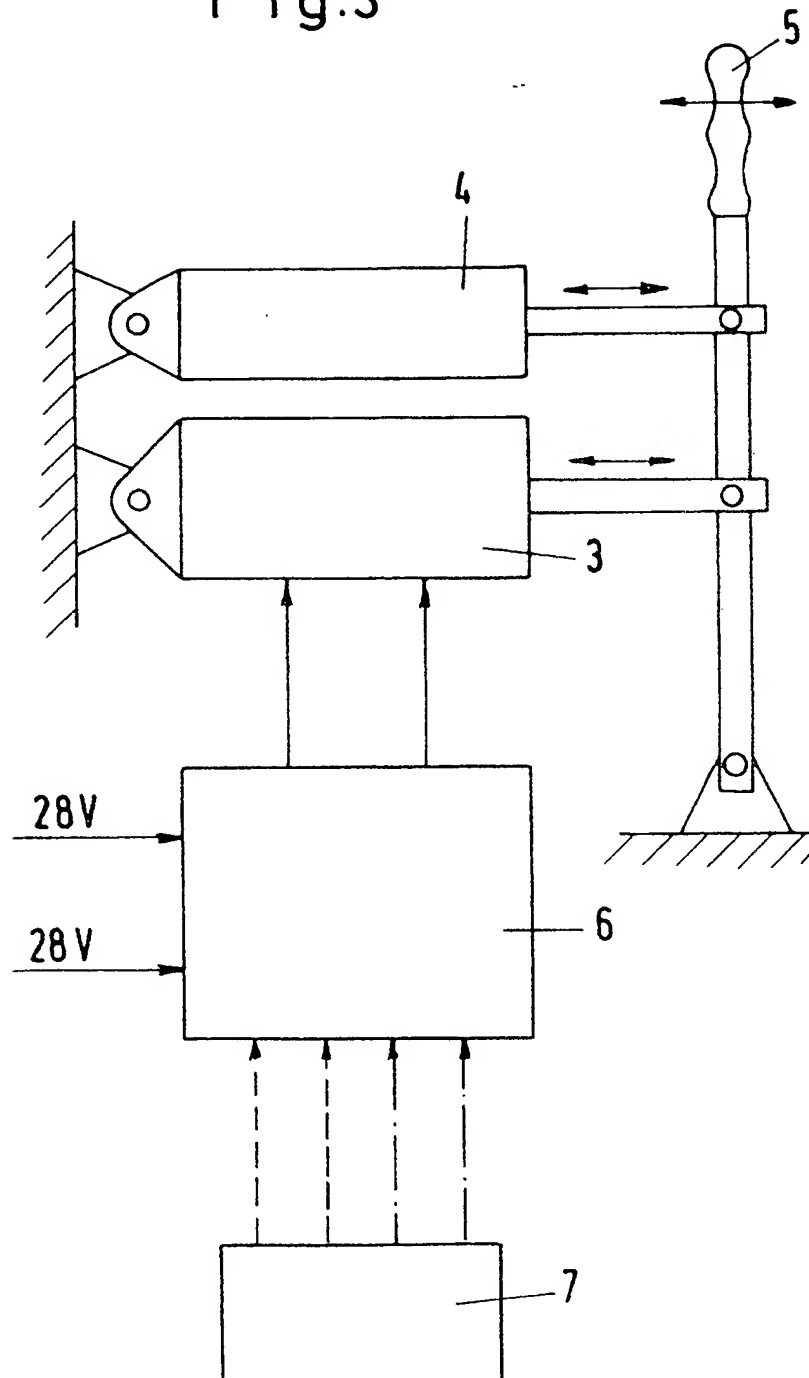


Fig.3



DERWENT-ACC-NO: 1990-092027  
DERWENT-WEEK: 199013  
COPYRIGHT 1999 DERWENT INFORMATION LTD

TITLE: Force simulation for aircraft servo-system -  
involves piston moving in  
liq. with viscosity varied by electric current

INVENTOR: HARZER, P; WAGNER, S

PATENT-ASSIGNEE: MESSERSCHMITT-BOLKOW-BLO[MESR]

PRIORITY-DATA: 1988DE-3830836 (September 10, 1988)

PATENT-FAMILY:

PUB-NO	PUB-DATE	LANGUAGE
PAGES	MAIN-IPC	
DE 3830836 A	March 22, 1990	N/A
006	N/A	
DE 3830836 C	July 26, 1990	N/A
000	N/A	

APPLICATION-DATA:

PUB-NO	APPL-DESCRIPTOR	APPL-NO
DE 3830836A	N/A	1988DE-3830836
September 10, 1988		

INT-CL (IPC): B64C013/46; B64C025/44 ; B64G001/24

ABSTRACTED-PUB-NO: DE 3830836A

BASIC-ABSTRACT: The device can simulate a force in order to provide 'feel' in a servo-system for operating the controls of an aircraft or other similar applications. The force simulator makes use of a liq. which undergoes a change in viscosity when an electric current is passed through it.

The force simulator consists of a cylindrical housing (10) which encloses a bush (16) which is electrically insulated from the housing wall. A piston (12) slides inside the bush with radial clearance. The device

is connected to an electrical circuit with the housing (10) forming one electrode and the piston (12) and piston rod (14) forming the other electrode. Varying the electric current varies the viscous resistance to the movement of the piston.

USE - Servo-systems for aircraft.

ABSTRACTED-PUB-NO: DE 3830836C  
EQUIVALENT-ABSTRACTS: The force simulator opposes the pilots muscular force with a resistance dependent on the movement or load status of the aircraft at any one time. It acts on a hand control and consists of a closed coherent fluid-filled cavity housing an element kinematically coupled to the control and causing the fluid to flow in the narrow part of the cavity. The sealed cavity should be filled with an electrorheological fluid (8) and has two close spaced flat insulated electrodes in its narrow part. The voltage applied to the electrodes is controlled by a computer as a function of the aircraft movement of load status. USE/ADVANTAGE - Aircraft servo controls. Electrorheological fluid in pistons and cylinder unit releates force outlay to aircraft movement and load via variable electrode voltage.

(6pp)

CHOSEN-DRAWING: Dwg.1/3

TITLE-TERMS:  
FORCE SIMULATE AIRCRAFT SERVO SYSTEM PISTON MOVE LIQUID  
VISCOSITY VARY ELECTRIC  
CURRENT

DERWENT-CLASS: Q25

SECONDARY-ACC-NO:  
Non-CPI Secondary Accession Numbers: N1990-071013